2T

УДК 621.398.724

Л.І. Тимченко, Н.І. Кокряцька, В.В. Мельніков, С.В. Наконечна
Державний економіко-технологічний університет транспорту
Україна, 03049, м. Київ, вул. М. Лукашевича, 19

Новий метод прогнозування із застосуванням паралельно-ієрархічної мережі

L.I. Timchenko, N.I. Kokriatskaia, V.V. Melnikov, S.V. Nakonechna
State Economic Technological University of Transport
Ukraine, 03049, c. Kyiv, M. Lukashevycha st., 19

New Method for Prediction with Use of Parallel Hierarchical Network

Л.И. Тимченко, Н.И. Кокряцкая, В.В. Мельников, С.В. Наконечная
Государственный экономико-технологический университет транспорта
Украина, 03049, г. Киев, ул. Н. Лукашевича, 19

Новый метод прогнозирования с использованием параллельно-иерархической сети

У статті розглянуті положення, необхідні для розробки методу прогнозування з використанням паралельно-ієрархічної (ПІ) мережі, що використовує ідею згладжування емпіричних даних за гіперболою. Розроблено математичні моделі для прогнозування рядів динамічних образів, а також програмно-технічна реалізація для прогнозування положення рухливих об’єктів на прикладі енергетичних центрів зображень плям лазерних пучків.
Ключові слова: паралельно-ієархічна (ПІ) мережа, зображення плям лазерних пучків, статистичне спостереження, ряди динаміки, прогнозування.

In the article, the provisions necessary for development of the prediction method with use parallel hierarchical (PH) network is considered. This method exploits the idea of smoothing of empirical data on the hyperbole. The mathematical models for prediction series of dynamic images as well as software and technical implementation for prediction of position of moving objects by the example of energy centers of spots images of laser beams is developed.
Key Words: parallel hierarchical (PH) network, spots images of laser beams, statistical measurement, time series, prediction.

В статье рассмотрены положения, необходимые для разработки метода прогнозирования с использованием параллельно-иерархической (ПИ) сети, который использует идею сглаживания эмпирических данных по гиперболе. Разработаны математические модели для прогнозирования рядов динамических образов, а также программно-техническая реализация для прогнозирования положения подвижных объектов на примере энергетических центров изображений пятен лазерных пучков.
Ключевые слова: параллельно-иерархическая (ПИ) сеть, изображения пятен лазерных пучков, статистическое наблюдение, ряды динамики, прогнозирование.

Вступ

Швидко зростаючі вимоги сучасних обчислювальних середовищ стимулюють до розробки нових інтелектуальних методів передачі та обробки інформації. Жорсткі вимоги систем, що обробляють інформацію в режимі реального часу, змушують вчених регулярно створювати і оновлювати системи передачі інформації. У наш час

більшість інтернет-каналів не здатні забезпечити необхідний якісний обмін інформацією між такими системами, що, в свою чергу, призводить до перевантаження даних каналів і створення так званих цифрових пробок. Одним із способів вирішення проблеми передачі великих обсягів інформації може бути застосування оптоволоконного кабелю, але прокладання кабелю даного типу, навіть на невеликі відстані, досить дороге задоволення. У той час як використання лазерних технологій [1] дозволяє вирішити дану проблему і є однією з найбільш перспективних моделей передачі інформації в найближчому майбутньому. В цьому випадку стало б можливим, наприклад, передавати десятки повнометражних фільмів і віртуальних світів в будь-яку точку земної кулі за частки секунди. Більшість супутників передають інформацію, наприклад телевізійні програми, за допомогою мікрохвильового випромінювання. У той же час передача інформації за допомогою лазера може відбуватися в сотні разів швидше, що в свою чергу істотно вплине на пропускну здатність каналу передачі.

Для передачі інформації за допомогою лазера необхідно, щоб супутник і приймальний пристрій (ПП) перебували у певній позиції. Положення лінзи ПП діаметром усього кілька сантиметрів має бути відрегульоване до тисячної частки градуса. В іншому випадку передача інформації просто не відбудеться.

Під час процесу відстеження супутника приймальним пристроєм, що відбувається на всіх етапах роботи системи, однією з основних задач є прогнозування положення зображення плями лазерного променя, а саме його геометричних характеристик, що спотворюються, в свою чергу, під впливом турбулентності і повітряних мас.

Для вирішення задачі ефективного прогнозування доцільно підвищити точність визначення центра плямового об'єкта за допомогою максимального використання його інформаційних ознак, а також класифікувати кадри послідовності зображень плям лазерних пучків, з метою фільтрації лазерної траси від сильно спотворених дією перешкод зображень.

Розробка комп'ютеризованих систем прогнозування в реальному часі отримала новий поштовх розвитку з появою високопродуктивних автоматизованих систем збору, обробки та зберігання інформації. Такі системи складаються із сукупності технічних засобів збору та обробки інформації, здатних забезпечити на основі спеціально розроблених алгоритмів вирішення завдання класифікації і прогнозу характеристик відповідних об'єктів, явищ або процесів реального часу, в переважній більшості використовуючи геометричні властивості меж об'єктів. У даній статті досліджуються фрагменти трас лазерних пучків, що використовуються в засобах оптичного зв'язку, навігації, локації, а також у військовій техніці. Розробка системи прогнозування на основі ПІ мережі дозволяє вирішити наступні завдання:

– автоматичний контроль об'єктів;
– передача даних за допомогою лазерів;
– прогнозування поведінки рухомих об'єктів.

Виявити та охарактеризувати розміри, зміни та кількісні співвідношення певних явищ можна, здійснюючи послідовно три основні стадії статистичного дослідження:

– статистичне спостереження, основним завданням якого є отримання певних значень досліджуваних ознак від кожної одиниці статистичної сукупності шляхом їх реєстрації. Причому дане спостереження має набути масового характеру. Це обумовлюється тим, що вивчення статистичної закономірності проявляється у достатньо великому масиві даних на підставі дії закону великих чисел [1];

– статистичне зведення та групування первинних даних, яке має завданням всебічної систематизації матеріалів статистичного спостереження. Це перевірка даних, їх групування за певними ознаками, підбиття підсумків, розрахунку показників тощо;

– аналіз статистичної інформації – передбачає проведення аналізу даних на основі обчислення узагальнюючих показників: абсолютних, відносних і середніх величин, статистичних коефіцієнтів, показників варіації ознак і динаміки явищ, індексів та показників, що характеризують щільність зв’язку між явищами тощо.

Метою даної роботи є розробка методу прогнозування з використанням паралельно-ієрархічної мережі зі згладжуванням емпіричних даних за гіперболою.

Вихідні положення для розробки методу прогнозування із застосуванням ПІ мережі

Відомо, що аналіз статистичної інформації дає змогу розкрити причинні зв’язки досліджуваних явищ, визначити вплив та взаємодію різних чинників, а також дозволяє оцінити ефективність прийнятих управлінських рішень. Порівнюючи узагальнюючі статистичні показники досліджуваних явищ, визначають кількісні оцінки їх поширення у просторі та розвиток у часі, можна виявити характеристики зв’язку та взаємозалежності, сформулювати наукові та практичні висновки [2].

Для аналізу досліджуваних статистичних даних їх потрібно систематизувати, побудувавши хронологічні ряди, які називають динамічними рядами. Кожний ряд динаміки складається з періодів, або моментів часу t, до яких належать рівні ряду, та статистичних показників y, які характеризують рівні часу. Як статистичні показники використаємо дані протяжних лазерних трас, а саме координати енергетичних центрів плям лазерних пучків [3], [4].

З проведеного у [2] аналізу методів згладжування емпіричних даних (МЗЕД) видно, що незалежно від методу згладжування та способу визначення лінії тренду йде однакове розподілення «піків» та «ям». Це дає змогу зробити висновок про те, що коливання показників більшості явищ можна визначити будь-яким МЗЕД. Тому є прийнятним використати менш трудомісткий МЗЕД. Для другої стадії статистичного дослідження, тобто статистичного зведення та групування первинних даних, використаємо МЗЕД за гіперболою, який опишемо нижче.

Опис МЗЕД за гіперболою

Виявлення основної тенденції ряду (тренду) є одним з головних методів аналізу та узагальнення динамічних рядів. Лінія тренду динамічного ряду вказує на змінення досліджуваного явища в часі без певних відхилень, спричинених різними факторами. У статистичній практиці тенденцію розвитку явищ у часі знаходять за методами збільшення інтервалів, ковзної середньої та аналітичного згладжування.

Найефективнішим є складний спосіб виявлення основної тенденції – аналітичне згладжування [5].

Рівні ряду динаміки розглянемо як функцію часу (1):

$$\hat{Y}_t = f(t). \tag{1}$$

Задача згладжування зводиться до знаходження такого вигляду функції, ординати точок якої були б найближчі до значень фактичного динамічного ряду.

Найпоширенішими закономірностями, що описують тенденцію розвитку явищ, є: пряма, показникові функція, парабола другого і третього порядків, гіпербола, логістична функція, експонента, ряд Фур’є тощо. Вважаємо доцільним використати метод згладжування за гіперболою, оскільки саме гіпербола більш точно описує зростання або спадання динамічного ряду, а також даний метод згладжування є менш трудомістким порівняно з іншими.

Рівняння гіперболи наведене нижче:

$$\hat{Y}_t = a_0 + \frac{a_1}{t}, \qquad (2)$$

де a_0, a_1 – параметри рівняння гіперболи, для знаходження яких способом найменших квадратів необхідно застосувати систему нормальних рівнянь (3):

$$\begin{aligned} &\sum Y = na_0 + \sum \frac{a_1}{t}; \\ &\sum Y \frac{1}{t} = a_0 \sum \frac{1}{t} + a_1 \sum \frac{1}{t^2}. \end{aligned} \qquad (3)$$

Якщо виконується рівність (4),

$$\sum t = 0. \qquad (4)$$

то із системи (3) отримаємо:

$$\begin{aligned} &\sum Y = na_0; \\ &\sum Y \frac{1}{t} = a_1 \sum \frac{1}{t^2}. \end{aligned} \qquad (5)$$

Про логарифмувавши (5), отримаємо:

$$\begin{aligned} &\sum \lg Y = n \lg a_0; \\ &\sum t \lg Y = \lg a_1 \sum t^2. \end{aligned} \qquad (6)$$

Із системи (6) знаходимо параметри рівняння гіперболи a_0, a_1:

$$\lg a_0 = \frac{\sum \lg Y}{n}. \qquad (7)$$

$$\lg a_1 = \frac{\sum t \lg Y}{\sum t^2}. \qquad (8)$$

Розробка методу прогнозування

Для початку розглянемо на практичному прикладі застосування МЗЕД за гіперболою, описаного вище. Даний приклад характеризує динаміку зміни собівартості продукції підприємства. Дані роботи підприємства наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Дані роботи підприємства

Рік	Собівартість одиниці продукції Y, грн
2006	70
2007	50
2008	30
2009	20
2010	15

Застосуємо метод згладжування за гіперболою (2) та, прологарифмувавши його, знайдемо параметри рівняння гіперболи a_0, a_1 за формулами (7) та (8):

$$\lg a_0 = \frac{\sum \lg Y}{n}. = \frac{7{,}5066}{5} = 1{,}50132 \Rightarrow a_0 = 31{,}72;$$

$$\lg a_1 = \frac{\sum t \lg Y}{\sum t^2} = \frac{-1{,}7356}{10} = -0{,}17356 \Rightarrow a_1 = -1{,}491.$$

Отже, рівняння гіперболи набуде вигляду:

$$\lg \hat{Y}_t = 1{,}50132 - 0{,}17356t \Rightarrow \hat{Y}_t = 31{,}72 - \frac{1{,}491}{t}.$$

Зведемо дані згладжування у табл. 2.

Таблиця 2 – Дані згладжування

Рік	Собівартість одиниці продукції Y, грн	$\lg Y$	t	T^2	$t\lg Y$	$\lg \hat{Y}_t$	Рівень згладжування $\hat{Y}_t = a_0 + \frac{a_1}{t}$,
2006	70	1,8451	-2	4	-3,6902	1,8484	70,53
2007	50	1,699	-1	1	-1,699	1,6749	47,31
2008	30	1,4914	0	0	0	1,5013	31,72
2009	20	1,301	1	1	1,301	1,3278	21,27
2010	15	1,1761	2	2	2,3522	1,1542	14,27
n = 5	185	$\sum \lg Y =$ 7,5066	$\sum t = 0$.	$\sum t^2 =$ 10.	$\sum t\lg Y =$ $= -1,7356$	$\sum \lg \hat{Y}_t =$ $= 7,5066$	185,1

Дані табл. 2 проілюструємо на графіку (рис. 1).

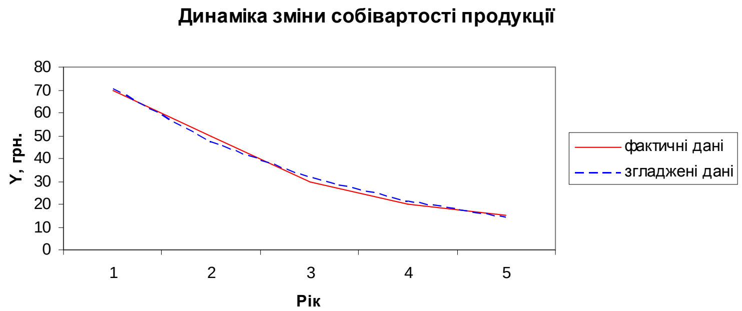


Рисунок 1 – Використання згладжування за гіперболою для подальшого прогнозування

Як видно з рис. 1, згладжені рівні дуже близькі до емпіричних, а отже, це свідчить про відповідність рівняння гіперболи для відображення тренду.

Якщо виконати певну апроксимацію згладженого ряду, можна виконати прогноз тренду на кілька кроків. Якісні показники прогнозування знайдемо експериментально шляхом визначення оптимального кроку дискретизації та кількості кроків прогнозування, а також точності прогнозування.

Отже, початкові дані необхідно подати у ПІ мережу. Початковими даними будемо вважати координати енергетичних центрів зображень плям лазерних пучків. Далі проходить етап навчання ПІ мережі за розробленим комбінованим методом [6]. Параметрами мережі є масиви X та Y координат на певному часовому проміжку, а також параметри рівняння гіперболи a_0, a_1 на даному проміжку. Покажемо структурну схему розробленого методу прогнозування із застосуванням ПІ мережі (рис. 2).

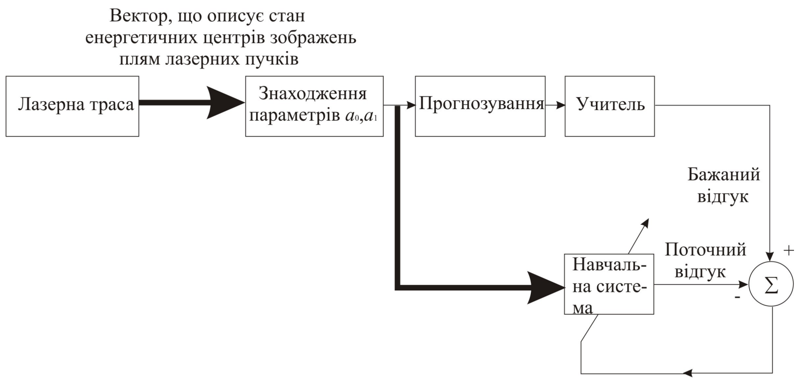


Рисунок 2 – Структурна схема розробленого методу прогнозування із застосуванням ПІ мережі

Експериментальні дослідження

Для перевірки ефективності роботи розробленого програмного засобу були проведені експерименти над лазерними трасами.

Для перевірки розробленого методу та визначення ефективності його роботи було проведено експерименти з прогнозування на основі відомих нейронних мереж. Прогнозування виконувалось на один крок.

Результати експериментальних досліджень з прогнозуванн динамічних рядів наведемо у табл. 3.

Таблиця 3 – Результати експериментальних досліджень з прогнозування динамічних рядів, отриманих за допомогою відомих типів нейронних мереж

№ п/п	Нейроподібна мережа	Середня похибка прогнозування, %	Максимальне значення похибки прогнозування, %	Кількість кроків прогнозування
1.	РБФ S1	1,63	5,81	1
2.	Лінійна S5	1,63	4,74	1
3.	Лінійна S3	1,62	4,75	1
4.	МП 5-8-4	1,63	5,04	1
5.	МП 5-5-4	1,63	5,04	1

Наведемо графіки, отримані при прогнозуванні динамічних рядів (рис. 3 – рис. 8).

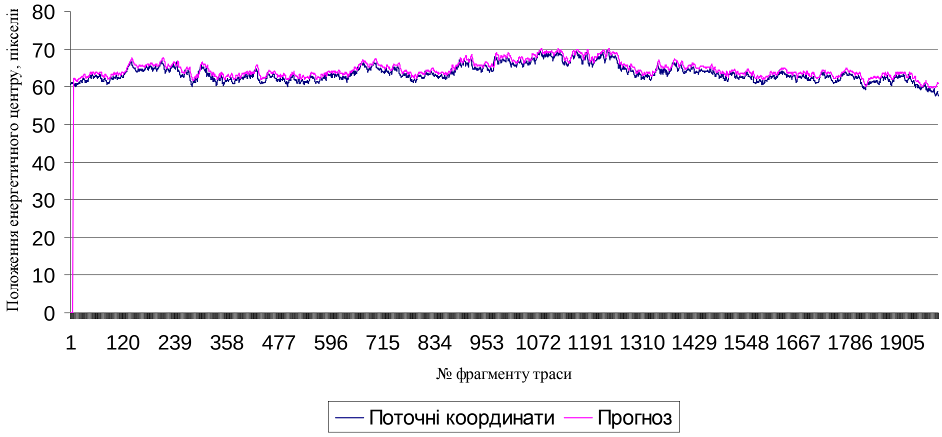


Рисунок 3 – Виконання прогнозування за допомогою нейроподібної мережі РБФ S1

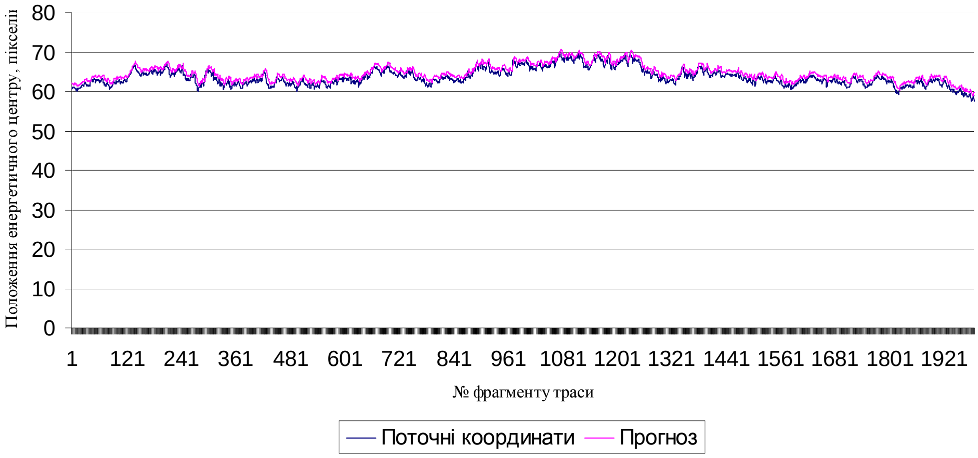


Рисунок 4 – Виконання прогнозування за допомогою лінійної нейроподібної мережі S5

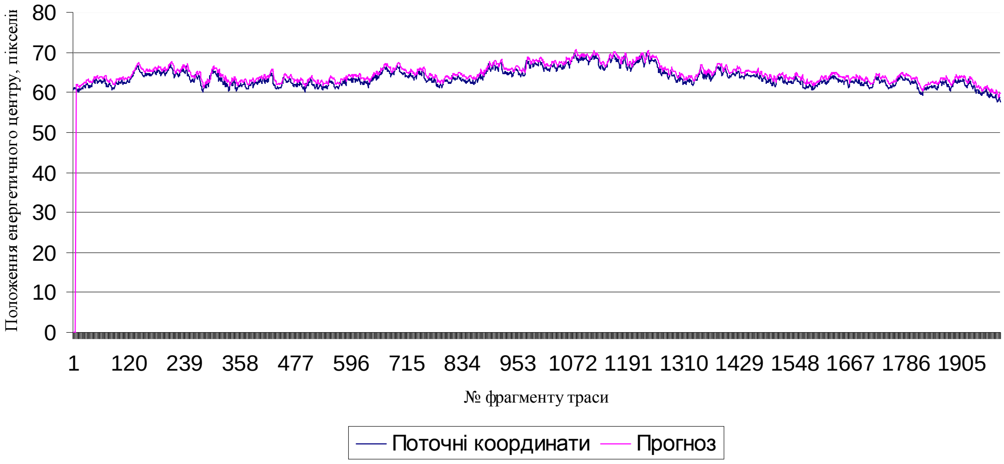


Рисунок 5 – Виконання прогнозування за допомогою лінійної нейроподібної мережі S3

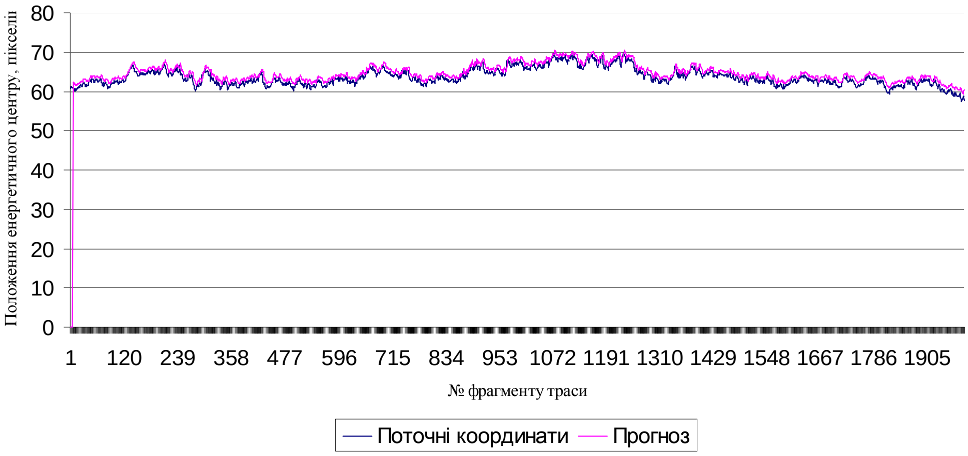


Рисунок 6 – Виконання прогнозування за допомогою нейроподібної мережі МП 5-8-4

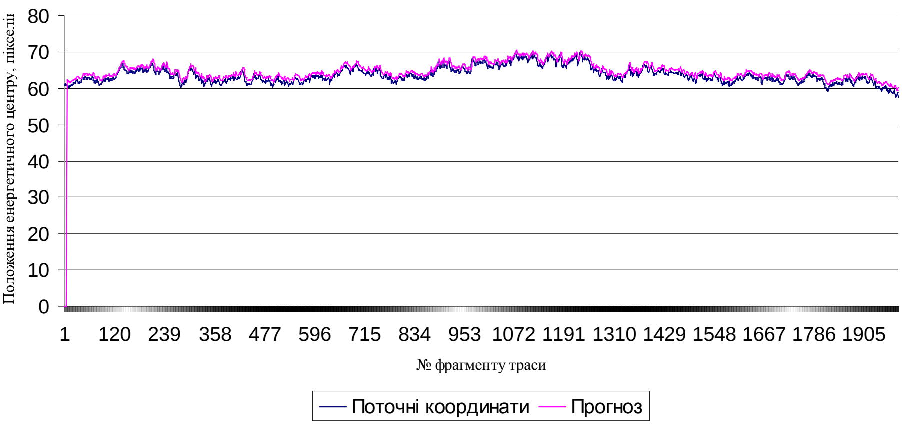


Рисунок 7 – Виконання прогнозування за допомогою нейроподібної мережі МП 5-5-4

З проведених досліджень видно, що середня похибка прогнозування із застосуванням різних типів нейромереж практично однакова і складає 1,62%. Максимальне значення похибки прогнозування із застосуванням різних типів мереж коливається у межах 4,74 – 5,81%.

Виконаємо прогноз за допомогою розробленого програмного засобу із застосуванням ПІ мережі. Наведемо графіки, отримані при прогнозуванні динамічних рядів (рис. 9 – рис. 10).

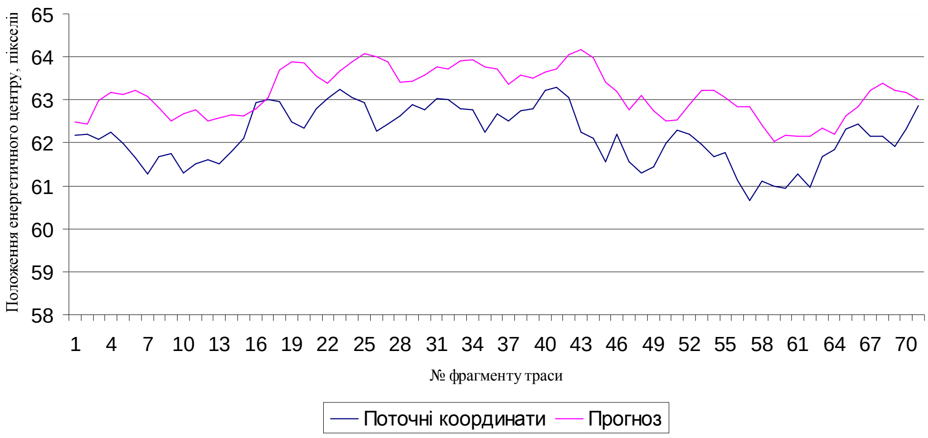


Рисунок 8 – Виконання прогнозування за допомогою нейроподібної мережі МП 5-5-4 (збільшений фрагмент)

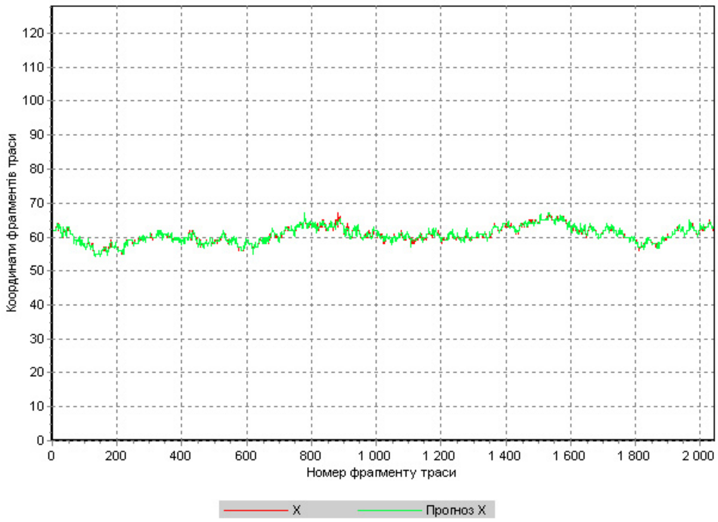


Рисунок 9 – Виконання прогнозування за допомогою ПІ мережі

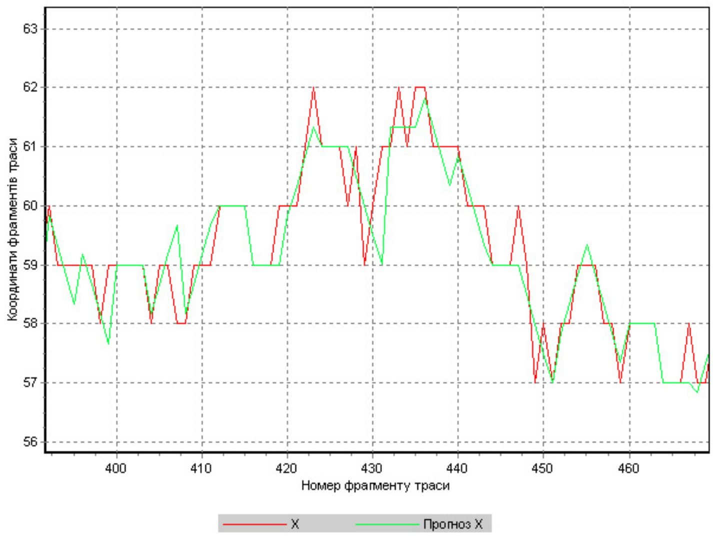


Рисунок 10 – Виконання прогнозування за допомогою ПІ мережі (збільшений фрагмент)

Відповідні показники склали:

– середня похибка прогнозування = 0,552%;

– максимальне значення похибки прогнозування = 1,23%.

Отже, розроблений метод є більш ефективним для прогнозування положень енергетичних центрів плям лазерних пучків, а також є менш трудомістким.

Література

1. Laser Control of Near Earth Space and Possbilities for Removal of Space Debris from Orbit with Explosive Photo-Dissociation Lasers with Phase Conjugation / N.G. Basov, E.M. Zemskov, Y.F. Kutaev et. al. // Proc. GCL/HPL 98. SPIE Symposium, St-Petersburg (Russia). – 1998. – Vol. 3574. – P. 219-228.
2. Тимченко Л.И. Многоэтапная параллельно-иерархическая сеть как модель нейроподобной схемы вычислений / Л.И. Тимченко // Кибернетика и системный анализ. – 2000. – № 2. – С. 114-134.
3. Метод организации параллельно-иерархической сети для распознавания образов / Л.И. Тимченко, В.В. Мельников, Н.И. Кокряцкая [и др.] // Кибернетика и системный анализ. – 2011. – № 1. – С. 152-163.
4. Тимченко Л.И. Методы обучения параллельно-иерархической сети и их применение для распознавания образов / Л.И. Тимченко, В.В. Мельников, Н.И. Кокряцкая // Кибернетика и системный анализ. – 2011. – № 6. – С. 155-184.
5. Nafez Shweiki Method for Training of a Parallel-Hierarchical Network, Based on Population Coding for Processing of Extended Laser Paths Images / Leonid I. Timchenko, Yuriy F. Kutaev, Volodymyr P. Kozhemyako et. al. // Proceedings of SPIE. – 2002. – Vol. 4790. – P. 465-479.
6. Елисеев И.И. Международная статистика / Елисеев И.И., Костеева Т.В., Хоменко Л.М. – Минск : Высш. шк., 1995.
7. Robert J. Howlett. Radial basis function networks 2: new advances in design / Robert J. Howlett, L.C. Jain. – Springer, 2001. – 360 p.
8. Orlov D.A. Determination of the position of the center of a laser beam when the dynamic range of the matrix receiver is exceeded / D.A. Orlov and E.A. Neverova // Measurement Techniques. – Vol. 53, № 10. – P. 1140-1146.

Literatura

1. Basov N.G. Proc. GCL/HPL 98. SPIE Symposium. St-Petersburg (Russia). Vol. 3574. 1998. P. 219-228.
2. Timchenko L.I. Kibernetika i sistemnyj analiz. 2000. №2. S. 114-134.
3. Timchenko L.I. Kibernetika i sistemnyj analiz. 2011. №1. S. 152-163.
4. Timchenko L.I. Kibernetika i sistemnyj analiz. 2011. №6. S. 155-184.
5. Leonid I. TimchenkoProceedings of SPIE. Vol. 4790. 2002. P. 465-479.
6. EliseevI.I. Mezhdunarodnaya sttistika. Minsk: Vysch. shk.. 1995. S. 58-63.
7. Robert J. Howlett. Radial basis function networks 2: new advances in design. Springer. 2001. 360 p.
8. Orlov D.A. Determination of the position of the center of a laser beam when the dynamic range of the matrix receiver is exceeded. Measurement Techniques. Volume 53. Number 10. P 1140-1146.

RESUME

L.I. Timchenko, N.I. Kokriatskaia, V.V. Melnikov, S.V. Nakonechna

New Method for Prediction with Use of Parallel Hierarchical Network

The development of computer systems for on-line forecasting gets a new boost with the advent of highly automated systems for collecting, processing and storage. The use of the method of smoothing of empirical data on the hyperbole is desirable because hyperbole describes the increase or decrease of tine series more accurately, and this method of smoothing is less time consuming in comparison with others.

The method is less laborious and more effective provisions for prediction of energy centers of spots of laser beams.

Стаття надійшла до редакції 05.06.2012.